

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号
特開2001－68338
(P2001－68338A)

(43)公開日 平成13年 3 月16日 (2001.3.16)

(51)Int.Cl.⁷

H 0 1 F 13/00

識別記号

Z A A

F I

H 0 1 F 13/00

テーマコード* (参考)

Z A A A

審査請求 未請求 請求項の数 8 O L (全 12 頁)

(21)出願番号 特願平11－243551

(22)出願日 平成11年 8 月30日 (1999.8.30)

(71)出願人 592214302

株式会社イムラ材料開発研究所
愛知県刈谷市八軒町 5 丁目50番地

(72)発明者 伊藤 佳孝

愛知県刈谷市八軒町 5 丁目50番地 株式会
社イムラ材料開発研究所内

(72)発明者 岡 徹雄

愛知県刈谷市八軒町 5 丁目50番地 株式会
社イムラ材料開発研究所内

(74)代理人 100079142

弁理士 高橋 祥泰 (外 1 名)

最終頁に続く

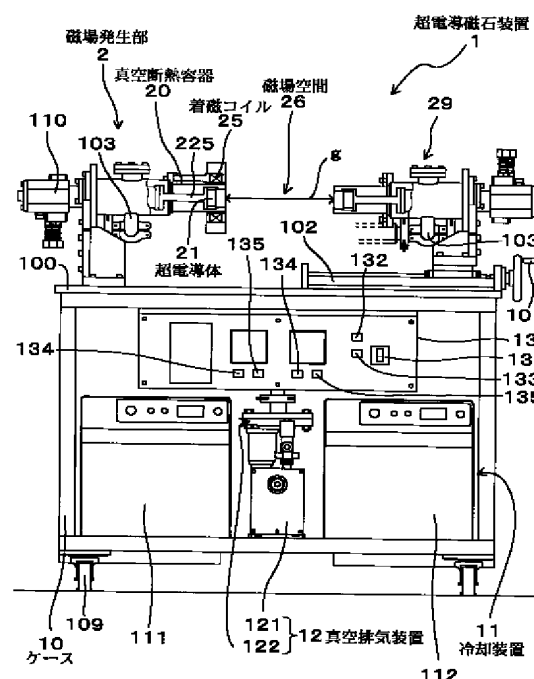
(54)【発明の名称】 超電導磁石装置及び超電導体の着磁方法

(57)【要約】

【課題】 強い磁場空間を形成可能な超電導磁石装置及び超電導体の着磁方法を提供すること。

【解決手段】 真空断熱容器 20 に収納された超電導体 21 より構成された磁場発生部 2, 29 を複数個備え、ここに該磁場発生部 2, 29 は磁場空間を形成するよう互いに近接して配設されてなり、また、上記超電導体 21 を着磁するための着磁コイル 25 と、上記超電導体 21 を冷却するための冷却装置 11 と、上記真空断熱容器 20 内を真空排気するための真空排気装置 12 とを備えた。

(図 1)



【特許請求の範囲】

【請求項1】 真空断熱容器に収納された超電導体より構成された磁場発生部を複数個備え、該磁場発生部は磁場空間を形成するよう互いに近接して配設されてなり、また、上記超電導体を着磁するための着磁コイルと、上記超電導体を冷却するための冷却装置と、上記真空断熱容器内を真空排気するための真空排気装置とを備えたことを特徴とする超電導磁石装置。

【請求項2】 請求項1において、上記磁場発生部は互いの位置関係を変更可能に配設されていることを特徴とする超電導磁石装置。

【請求項3】 請求項1または2において、上記着磁コイルはパルス電流を流すことにより上記超電導体を着磁するよう構成されていることを特徴とする超電導磁石装置。

【請求項4】 請求項1または2において、上記着磁コイルは超電導線材を巻回して構成され、かつ上記着磁コイルは定常電流を流すことにより上記超電導体を着磁するよう構成されていることを特徴とする超電導磁石装置。

【請求項5】 請求項1～4のいずれか一項において、上記着磁コイルは上記複数個の磁場発生部における超電導体の全てを同時に、またはいくつかを同時に着磁するよう構成されていることを特徴とする超電導磁石装置。

【請求項6】 請求項1～5において、上記冷却装置及び上記真空排気装置はケースに一体的に収納されていることを特徴とする超電導磁石装置。

【請求項7】 超電導遷移温度以下の温度に冷却した複数の超電導体を互いに近接させた状態で、着磁コイルにより発生するパルス磁場を上記超電導体に対し同時に印加することを特徴とする超電導体の着磁方法。

【請求項8】 請求項7において、上記複数の超電導体の間には強磁性体が配置されていることを特徴とする超電導体の着磁方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【技術分野】本発明は、磁場発生装置、着磁装置、磁気分離装置、磁場プレス機、核磁気共鳴(NMR)装置、発電機・モータ等の強磁場を必要とする各種装置に利用可能であって、バルク形状(塊状)の超電導体に高い磁場を捕捉させて磁石となす超電導磁石装置及び超電導体の着磁方法に関する。

【0002】

【従来技術】溶融法により作製されたバルク形状(塊状)のRE-Ba-Cu-O系高温超電導体(REはY又は希土類元素)は、1テスラを越える大きな磁場を捕捉することができ、従来の永久磁石を凌ぐ性能の磁石となることが知られている。

【0003】近年、この超電導バルク磁石を、磁場発生装置、着磁装置、磁気分離装置、磁場プレス機、核磁気

共鳴(NMR)装置、発電機・モータ等の強磁場を必要とする各種装置に磁石装置として利用することが検討され始めている。

【0004】このような高温超電導体を用いた磁石装置及び超電導体を着磁する方法としては、例えば、特開平6-168823(文献1)、特開平10-012429(文献2)、特願平10-100306(文献3)、特願平11-083854(文献4)、等が開示されている。

10 【0005】上記文献1によれば、高温超電導体を冷媒中で冷却した後、高温超電導体の周囲に配置した着磁コイルにパルス電流を通电することにより超電導体にパルス磁場を印加する。これにより、超電導体は、いわゆるピン止め効果によって磁場を捕捉して強力な磁石となる。

20 【0006】このパルス着磁法によれば、従来のFC(Field Cooling:磁場中冷却)法やZFC(Zero Field Cooling:ゼロ磁場冷却)法等の静磁場による着磁方法に比べて非常に簡便に超電導体を着磁することができ、この方法を利用した超電導磁石装置をコンパクトにすることができる。

【0007】また、上記文献2においては、冷媒に代えて冷凍機で超電導体を冷却する方法が示されている。超電導体に捕捉される磁場は温度が低いほど大きくなり、磁石としての発生磁場が増加する。従って、この方法により磁石装置としての性能が向上する。

30 【0008】また、上記文献3には、超電導体用の冷却装置や真空排気装置等の付帯設備をケース内にコンパクトに収納し超電導体による磁場発生空間を広く確保した超電導磁石装置が示されている。

【0009】また、上記文献4には、強磁性体を超電導体に近接させた状態でパルス着磁を行う着磁方法が示されている。この方法によれば、強磁性体を用いない場合よりも大きな磁場を超電導体に捕捉させることができる。

【0010】

【解決しようとする課題】しかしながら、上記従来の超電導磁石装置及び超電導体の着磁方法においては、次のような問題点がある。まず、超電導体から発せられる磁場は、マクロ的にみると超電導体内を同心円状に流れる超電導電流により生ずるため、その磁場強度は超電導体からの距離が大きくなるに従い指数関数的に減少する。従って、超電導体のごく近傍でしか強磁場が得られないという問題があった。

【0011】また、超電導体は磁場の捕捉により磁石となるため、着磁後は原理的に発生磁場の強度を変化させることができない。また、従来のパルス磁場による着磁方法では超電導体に捕捉される磁場の強度が不十分であった。

50 【0012】さらに、従来の方法で個別に着磁した超電

導体を近づけてその間に強磁場空間を形成しようとする
と、一方の超電導体による磁場が他方の超電導体のシー
ルド効果により排除されるため、磁場の足し合わせが成
り立たず、両者の間に期待する強度の磁場空間を実現で
きないという問題があった。

【0013】本発明は、かかる従来の問題点を鑑みてな
されたもので、強い磁場空間を形成可能な超電導磁石装
置及び超電導体の着磁方法を提供しようとするものであ
る。

【0014】

【課題の解決手段】請求項1に記載の発明は、真空断熱
容器に収納された超電導体より構成された磁場発生部を
複数個備え、該磁場発生部は磁場空間を形成するよう互
いに近接して配設されてなり、また、上記超電導体を着
磁するための着磁コイルと、上記超電導体を冷却するた
めの冷却装置と、上記真空断熱容器内を真空排気するた
めの真空排気装置とを備えたことを特徴とする超電導磁
石装置にある。

【0015】本発明の超電導磁石装置において最も注目
すべきことは、複数の磁場発生部を磁場空間が形成する
ように互いに近接して配設させたことである。ここに
『磁場発生部』とは磁場が放射される部位のことであ
り、『磁場空間が形成されるように配置』とは、複数の
上記磁場発生部から発せられる磁場を集中させて所望の
磁場分布が得られるように配置することである。

【0016】上記磁場発生部は、例えば2個を向き合
わせるように配置することができる（後述する実施形態例
1、図1参照）。この場合には、対向する2個の磁極を
異なる極性になるように着磁することにより、磁極間に
一方から他方に向かう磁場の空間が、磁場発生部1個の
場合よりも大きな磁場強度で形成することができる。

【0017】また、4個の磁場発生部を、それぞれの磁
極が1点に集中して向き合うように配置することができ
る（図8参照）。この場合には、隣り合う磁極が異なる
極性となるように着磁することにより、4個の磁極方向
にN極とS極が交互に強くなるような多極磁場のパター
ンを形成することができる。

【0018】また、上記磁場発生部は真空断熱容器に収
納された超電導体より構成され、超電導体は例えば後述
するようにコールドヘッドに接触して冷却され超電導状
態にある。上記超電導体は、超電導体の磁場を発生する
面と真空断熱容器の内壁面との間隔をできるだけ狭くし
て配設することが好ましい。これにより、より強い磁場
を真空断熱容器の外部に出すことができる。

【0019】上記冷却装置は、例えばコールドヘッドを
有する冷凍部と圧縮機とより構成することができ、上記
コールドヘッドに超電導体を直接あるいは間接的に接触
させて該超電導体の冷却を行うように構成することがで
きる。上記コールドヘッドとは圧縮機と冷凍部の作動に
より低温が得られる部分であり、上記超電導体は超電導

遷移温度（以下 T_c と記す）以下に保持される。また、
上記コールドヘッドと上記超電導体とを共に上記真空断
熱容器内に配設することが好ましい。これにより効率よ
く超電導体を冷却することができる。

【0020】上記冷却装置としては、GM（Gifford-Mc
Mahon）冷凍機、スターリング冷凍機、パルス管冷凍機
等を使用することができる。また、上記冷却装置の圧縮
機は各磁場発生部をそれぞれ冷却するように磁場発生部
と同数設けてもよいし、1台で複数の磁場発生部を冷却
するように構成することもできる。

【0021】また、上記真空排気装置は、真空断熱容器
内に真空度の高い状態を形成するために、粗引き用真空
ポンプを用いてある程度の真空状態を確保した後、より
高性能な高真空ポンプを用いて目的とする真空状態を形
成するよう構成することが好ましい。

【0022】上記真空排気装置としては、粗引き用とし
て油回転ポンプ、ダイアフラムポンプ等を使用すること
ができ、高真空用としてターボ分子ポンプ、油拡散ポン
プ、クライオポンプ等を使用することができる。

【0023】また、上記超電導体は、例えば溶融法によ
り作製された、Ag、Au、Pt等を含むRE-Ba-Cu-O系超電導体（REはY、希土類元素、又はこれ
らの元素の組み合わせ）を使用することができる。RE
-Ba-Cu-O系超電導体は、溶融法で作製すること
により強力なピン止め点を無数に含ませることができ
るため、高い捕捉磁場性能を得ることができる。また、P
tを混ぜることにより、ピン止め点をより強力にすること
ができる。また、AgやAuを混ぜることにより、超
電導体の機械的強度を増すことができる。

【0024】また、上記着磁コイルは、上記磁場発生部
の個々に配設されていてもよいし、1個の着磁コイルで
複数の磁場発生部の超電導体を着磁できるように構成す
ることもできる。また、上記着磁コイルは、超電導体の
近傍であれば真空断熱容器の外部又は内部のいずれにも
対しても配設することができる。上記着磁コイルを真空
断熱容器の外部に配設する場合には、上記着磁コイルが
上記磁場発生部から脱着できることが好ましい。この場
合には、真空断熱容器の周囲の空間を広く確保すること
ができ、超電導体の捕捉磁場により形成された強磁場空
間を有効に利用することができる。また、上記着磁コ
イルは外部電源より電流を通電し、該電流により発生す
る磁場によって超電導体を着磁できるよう構成することが
できる。

【0025】次に、本発明の作用につき説明する。本発
明の超電導磁石装置は、複数の磁場発生部が磁場空間を
形成するように互いに近接して配設されている。よっ
て、2個の異なる磁極を持つ磁場発生部を対向させた場
合には、上述したように、両方の磁極の磁場が重なり合
うので一方の磁極から遠ざかったときの磁場の減衰が少
なくなる。従って、磁極表面から離れた両磁極の間に磁

10

20

30

40

50

場発生部1個の場合よりも強力な磁場空間を実現することができる。

【0026】さらに、3個以上の磁場発生部を対向させた場合には、各磁極の種類(N極、S極)に対応した多極磁場のパターンを持つ強磁場空間が形成される。従って、磁場発生部1個で不可能であった種々なパターンの強磁場空間を実現することができる。

【0027】以上、本発明によれば、強い磁場空間を形成可能な超電導磁石装置を提供することができる。

【0028】次に、請求項2に記載の発明のように、上記磁場発生部は互いの位置関係を変更可能に配設されていることが好ましい。これにより、例えば2個の磁場発生部の磁極を向かい合わせた場合には、両磁極間の距離を変えることにより磁極間磁場の強度を変化させることができる。また、同様にして磁場空間の大きさや磁場分布も変化させることができる。また、3個以上の磁場発生部を対向させた場合には、隣り合う磁極の距離や向かい合う磁極の距離を変えることにより、多極パターンの形状や磁場強度を変化させることができる。また、着磁コイルを磁場発生部に脱着する際には、その操作が容易である。さらに、強磁場空間を利用する際、磁場に曝す部品や材料の取り付け取り外しが容易である。

【0029】次に、請求項3に記載の発明のように、上記着磁コイルはパルス電流を流すことにより上記超電導体を着磁するよう構成されていることが好ましい。1回のパルス電流の通電時間は数秒以下とすることができるので、通電によるコイル巻き線の温度上昇を少なくすることができる。そのため、温度上昇による電気抵抗の増加で困難であった着磁コイルへの大電流の通電が可能となり、コイル巻き線の断面積を小さくしたり、コイル巻き線の巻き数を少なくしたりすることができる。従って、小型・軽量のコイルで超電導体の着磁に必要な磁場を発生することが可能となる。

【0030】また、上記着磁コイルは、液体窒素等の冷媒や冷凍機により室温以下に冷却されていることが望ましい。着磁コイルを冷却することにより、コイル巻き線の電気抵抗が小さくなり、断面積がより小さいコイル巻き線で同じ大きさの電流を流すことができ、着磁コイルをより小型・軽量にすることができる。また、同じ断面積のコイル巻き線を使った場合でも、パルス電流の供給する電源を小型化できるため、装置全体をコンパクトにできる。

【0031】また、上記パルス電流としては、正弦波、矩形波、鋸波、コンデンサ放電波形等の波形のものをを用いることができ、単発もしくは繰り返して通電することができる。

【0032】次に、請求項4の発明のように、上記着磁コイルは超電導線材を巻回して構成され、かつ上記着磁コイルは定常電流を流すことにより上記超電導体を着磁するよう構成されていることが好ましい。これにより、

着磁コイルに電気抵抗ゼロで比較的大きな電流を定常的に流すことができる。従って、定常磁場を印加しながら超電導体を所定の温度に冷却しその磁場を切る、いわゆるFC(Field Cooling:磁場中冷却)法による着磁を可能とすることができる。

【0033】定常磁場によるFC着磁では、超電導体の捕捉磁場性能の範囲内で印加した磁場とほぼ同じ大きさの磁場を超電導体に捕捉させることができる。即ち、材料の捕捉磁場性能を十分に引き出すことができる。

【0034】次に、請求項5の発明のように、上記着磁コイルは上記複数個の磁場発生部における超電導体の全てを同時に、またはいくつかを同時に着磁するよう構成されていることが好ましい。

【0035】これにより、後述するように、複数の超電導体を近接させた状態で同時に着磁することが可能となり、単独で着磁するよりも捕捉磁場を強くすることができる。また、超電導体を個別に着磁してから近づけた時のシールド効果の問題をなくすことができ、発生磁場部の磁極間により強い磁場空間を実現することが可能となる。また、上記着磁コイルは、個々の磁場発生部に配設しそれらを電氣的に直列に接続する構成をとることができる。この場合には、1回の着磁で複数の超電導体に磁場を捕捉させることができるので、着磁の回数を少なくすることができ、装置の操作性が向上する。また、上記着磁コイルは、1個の着磁コイルで複数の超電導体を着磁するよう配設することができる。この場合には、着磁コイルの数が少なくなるので、装置をコンパクトにすることができる。

【0036】次に、請求項6の記載の発明のように、上記冷却装置及び上記真空排気装置はケースに一体的に収納されていることが好ましい。また、本発明の超電導磁石装置は、超電導体を超電導状態に維持するのに必要な低温、断熱を得るための冷却装置、真空排気装置、各種配管類等の付帯設備が、磁場空間を形成するのに必要な磁場発生部とは別のケース内に一体的に収納されている。よって、装置全体がコンパクトであり、磁場空間を広く有効に使えて操作性が良く、また、運搬が容易である。また、上記冷却装置と上記真空排気装置における各種配管類等が必要最小限の長さとなるよう構成することが好ましい。

【0037】請求項7記載の発明は、超電導遷移温度以下の温度に冷却した複数の超電導体を互いに近接させた状態で、着磁コイルにより発生するパルス磁場を上記超電導体に対し同時に印加することを特徴とする超電導体の着磁方法にある。

【0038】本発明において最も注目すべきことは、パルス着磁の際に上記超電導体を互いに近接させておくことである。

【0039】ここで、「超電導体を互いに近接させる」とは、超電導体を着磁した時に1個の超電導体に捕捉さ

れた磁場が他の超電導体に届く距離まで超電導体同士を予め近づけて位置させることをいう。例えば、2個の超電導体の場合には、超電導体の磁場を発する面を互に向かい合わせた配置をとることができる。また、3個以上の超電導体の場合には、個々の超電導体の磁場を発する面が一点に向かうような配置をとることができる。

【0040】また、着磁後の捕捉された磁場の利用に関しては、超電導体の配置は着磁時のままとし、超電導体の間に形成された磁場空間をそのまま使うことができる。あるいは、超電導体間の距離や位置関係を変えて、磁場空間の形状や磁場分布、磁場強度を変化させて使うこともできる。また、複数の超電導体を完全に分離して、個別に単独の磁石として使うこともできる。

【0041】次に、本発明の作用及び効果について説明するために、まず、超電導体が着磁されるメカニズムを簡単に説明する。超電導体の内部には無数のピン止め点が存在し、このピン止め点には超電導体内の磁束の動きを止める働き（ピン止め効果）がある。超電導体に磁場が印加されると、磁場が弱いときにはピン止め効果により磁場の超電導体内部への侵入が妨げられ、超電導体により磁場が排除される（シールド効果）。

【0042】磁場が強くなるに従い磁場は次第に超電導体の中心まで侵入するようになり、十分な磁場が侵入した後に印加された磁場が取り除かれると、今度はピン止め効果により磁場が超電導体から抜け出るのが妨げられ、磁場が超電導体に捕捉され超電導体が着磁される。

【0043】図9(a)に示すごとく、超電導体5が単独で着磁される通常の場合には、超電導体5の外部にはピン止め点50が無いので、磁場は着磁された超電導体5の内部では表面に近づくにつれて広がるように捕捉され、超電導体5の外部では超電導体5の一方の面より反対の面にもどるよう放射される。なお、同図において符号51が磁束線である。

【0044】また、超電導体5に印加される磁場がパルス磁場の場合には、パルス磁場の印加中に磁束線51が超電導体5内部で激しく動くため、超電導体5の温度が上昇する。そのため、ピン止め力が低下し、超電導体5に捕捉される磁場は発熱の分だけ減少する。従って、超電導体5により強い磁場空間を得るためには、超電導体5から発せられる磁場の広がりを少なくすることと、パルス着磁における捕捉磁場の減少を抑えることが必要となる。

【0045】次に、本発明の作用及び効果について説明する。本発明においては、複数の超電導体を近接させた状態でパルス着磁を実施する。そのため、別の超電導体が近くに存在していることによりピン止め効果が強くなる。

【0046】図9(b)に示すごとく、近接している超電導体52、53の表面近傍では磁場の広がりが少ない状態で磁場が捕捉される。また、超電導体52、53の

発熱によるピン止め力の低下も相対的に小さくなる。従って、超電導体52、53に捕捉される磁場を大きくすることができ、複数の超電導体52、53を着磁後に分離しても超電導体52、53から発する磁場は単独で着磁する場合よりも強力にすることができる。

【0047】また、超電導体を互いに近接させた状態で着磁した後、超電導体の距離や位置を変えて磁場空間の形状や磁場分布、磁場強度を変化させる場合には、予め近接させた状態で着磁を行っているため、従来技術の問題点で指摘したような、単独で着磁した超電導体を近づけて磁場空間を形成する際に問題となっていた超電導体のシールド効果の影響をなくすることができ、位置関係を変えた超電導体の間に強い磁場空間を形成することが可能となる。

【0048】以上、本発明によれば、強い磁場空間を形成可能な超電導体の着磁方法を提供することができる。

【0049】次に、請求項8の発明のように、複数の上記超電導体の間に強磁性体を配置しておくことが好ましい。この場合には、強磁性体は磁場がかかると強く磁化され、それ自体が磁場を発生するようになる。そのため、超電導体にはパルス磁場だけでなく、そのパルス磁場により磁化された強磁性体による磁場が重畳して印加される。従って、超電導体に効率よく磁場を印加することができる。

【0050】また、強磁性体は磁場を収束させる、いわゆるヨークの働きをする。従って、上述した、超電導体の表面近傍における磁場の広がりを少なくすることができる。また、超電導体に印加された磁場がゼロになった後でも、残留磁化、もしくは超電導体に捕捉された磁場により誘起される磁化が強磁性体に残るので、超電導体には引き続き磁場がかかった状態が継続される。これにより、上述した発熱による捕捉磁場の減少が抑制され、より多くの磁場を捕捉することが可能となる。

【0051】上記強磁性体は、飽和磁化、又は残留磁化が大きいことが好ましい。このような材料には、パーメンジュール、電磁軟鉄、ケイ素鋼等の高透磁率材料、Nd-Fe-B、Sm-Co等の永久磁石材料、Gd、Dy、Tb等の希土類材料がある。

【0052】

【発明の実施の形態】実施形態例1

本発明の実施形態例にかかる超電導磁石装置につき、図1～図4を用いて説明する。図1及び図2に示すごとく、本例にかかる超電導磁石装置1は、真空断熱容器20に収納された超電導体21より構成された磁場発生部22、29を2個備え、該磁場発生部22、29は磁場空間26を形成するよう互いに近接して配設されてなり、また、上記超電導体21を着磁するための着磁コイル25と、上記超電導体21を冷却するための冷却装置11と、上記真空断熱容器20内を真空排気するための真空排気装置12とを備えている。そして、上記超電導磁石

装置1において、冷却装置11を稼働させることで、2個の超電導体21を互いに近接させた状態で超電導遷移温度以下の温度に冷却できる。その後、着磁コイル25により発生するパルス磁場を上記超電導体21に対し同時に印加することで、上記超電導体21を着磁することができる。

【0053】以下、詳細に説明する。本例の超電導磁石装置1は、図1に示すごとく、2台の磁場発生部2、29がケース10の天板テーブル100の上に磁極を近接・対向させて左右に配置されている。左側の磁場発生部2は天板テーブル100に固定され、右側の磁場発生部29は移動ステージ102のハンドル101を回すことにより磁極間距離 g を0~200mmの範囲で変えられるように設置されている。

【0054】図1に示すごとく、ケース10内には、冷却装置11、真空排気装置12、図示を略した各種配管類等が一体に収納されている。冷却装置11はGM冷凍機を用いており、その圧縮機111、112は左右の磁場発生部2、29の冷却用に左右に1個ずつ配置されている。真空排気装置12は、粗引き用真空ポンプとして油回転ポンプ121、高真空用としてターボ分子ポンプ122を用いている。

【0055】図1に示すごとく、ケース10の前面には、冷却装置11と真空排気装置12の制御ユニット13が取り付けられている。制御ユニット131には、電源スイッチ131、真空排気装置用の運転スイッチ132と停止スイッチ133、冷却装置11の運転スイッチ134と停止スイッチ135が設けてある。ケース10には、可搬性を確保するためのキャスター109が設けてある。

【0056】左右それぞれの磁場発生部2、29の冷凍部110には、図2に示すごとく、コールドヘッド225が設けてあり、コールドヘッド225の先端にはサファイアブロック223を介して超電導体21が取り付けられている。超電導体21は、ホルダ227によりサファイアブロック223と共にコールドヘッド225にねじ止めされている。

【0057】超電導体21、サファイアブロック223、コールドヘッド225はステンレス製の真空断熱容器20内に密閉収納されており、上述した真空排気装置12により真空排気されている。コールドヘッド225の先端近傍にはPt-Cr温度計226が取り付けられ、コールドヘッド225の温度が測定できるようになっている。

【0058】図2に示すごとく、超電導体21の磁場を発生する表面の中央にはホール素子221が設置されており、超電導体21が発生する磁場が測定できるようになっている。超電導体21とサファイアブロック223との間には両者の熱接触を良くするためにインジウムシート222が設けてある。サファイアブロック223とコ

ールドヘッド225との間には高さ調整用の銅製のスペーサ224が設けてあり、超電導体21と真空断熱容器20の天井面との隙間が、断熱を保ちつつできるだけ狭くできるようになっている。

【0059】超電導体21は、15重量%の Ag_2O （酸化銀）と0.5重量%のPt（白金）を添加して溶融法で作製したSm-Ba-Cu-O系を用いた。サイズは、直径36mm×高さ16mmの円柱状である。超電導体21は、冷却や電磁力によるクラックの発生を防ぐため、ステレンスリングとスタイキャストにより補強した（図示略）。

【0060】図2に示すごとく、着磁コイル25は、ステンレス製のボビンに平角銅線が68ターン巻かれたコイル巻き線からなり、外周にはステレンスリングがはめ込まれ溶接されている。リングとコイル巻き線との間隙には高熱電導性のスタイキャスト250が充填されている。

【0061】着磁コイル25はリング状の冷媒容器251の内部に一体的に固定して収納されている。冷媒容器251の上部には冷媒注入口252が設けられており、冷媒容器251の周囲には冷媒の蒸発を最小限に抑えるための断熱材253が巻かれている。着磁コイル25と冷媒容器251の全体とそれを支えるベースプレート234がフランジ、スタッドボルト235により真空断熱容器20に対し脱着可能に固定されている。

【0062】図2に示すごとく、着磁コイル25にはパーメンジュール製の強磁性体23が固定プレート231を介して固定ボルト232により脱着可能に固定され、真空断熱容器20の天井面200を挟んで超電導体21と対向するように配置されている。強磁性体23の反対側の面は凸部230になっており、固定プレート231と同一平面をなすように構成されている。

【0063】固定プレート231の外縁部には、着磁後に磁化した超電導体21との引力に打ち勝って強磁性体23と固定プレート231の全体を着磁コイル25から分離するための取り外しボルト233が設けてある。

【0064】図2に示すごとく、取り外しボルト233の固定プレート231側は段のついた丸棒状で回転できるように固定プレート231にはまっており、ベースプレート234側はねじになっており、ベースプレート234にねじ込まれている。取り外しボルト233を回すと、固定プレート231がベースプレート234に対して引き離される。2個の磁場発生部2の真空断熱容器200の内部と着磁コイル25の構造は左右対称になっている。

【0065】移動ステージ102を操作して、図3に示すごとく、左右の磁場発生部2、29を固定プレート231が接触するまで近づけると、左右の強磁性体23が凸部230で接触してつながるようになる。この状態で左右の着磁コイル25に同時に電流を流すことにより、

近接した超電導体21の間に強磁性体23を配置して着磁をすることができる。

【0066】図4に示すごとく、強磁性体23と固定プレート231を着磁コイル25から取り外し、1個の着磁コイル25の中で左右の磁場発生部2、29の磁極を接触させた状態で着磁コイル25に電流を流した。超電導体21を最も近接させた状態で着磁をすることができる。この場合には、着磁コイル25の中心に対して左右の超電導体21が対称の位置になるように、左右のスタッドボルト236は図1～図3にかかる図面に示したものと同形で長さを変えたものを使用する。

【0067】次に、超電導磁石装置1の作動について説明する。電源スイッチを入れ、真空排気装置12の運転スイッチをONにすることで、まず油回転ポンプ121が作動し、真空断熱容器20内が予備排気される。一定時間後にターボ分子ポンプ122が作動し真空断熱容器20内が高真空まで排気される。

【0068】冷却装置11の運転スイッチをONにすることにより冷凍部110が作動し、コールドヘッド225が32K以下まで冷却される。目的に応じて、着磁コイル25を左右の磁場発生部2のそれぞれに取り付けたり、図3のように左右の着磁コイル25を連結したり、図4のように1個の着磁コイル25の中に左右の磁極が入るように取り付けたりする。

【0069】冷媒容器251に液体窒素を入れて着磁コイル25を77Kに冷却した後、パルス電源より着磁コイル25にパルス電流を通電し、発生したパルス磁場により超電導体21を着磁する。

【0070】強磁性体23が取り付けられている場合には、固定ボルト232を外した後、取り外しボルトを回すことにより強磁性体23と固定プレートを対向している超電導体21から引き離す。スタッドボルト236のナットを外して冷媒容器251ごと着磁コイル25を取り外し、左右の磁場発生部2、29の磁極間に強い磁場空間26を得る。

【0071】本例にかかる超電導磁石装置1における、左右の磁場発生部2、29の磁極間の磁場分布例を、図1に示すごとく、磁場発生部2、29が磁極間距離 $g=20\text{mm}$ で近接している場合について測定し、図5に示す。本例にかかる超電導磁石装置1において、左右の磁場発生部2、29は、磁極がそれぞれN極とS極になるように着磁コイル25に電流を流し着磁を行っている。縦軸は磁極の中心軸上の磁束密度であり、横軸は左側の超電導体21の表面からの距離である。

【0072】図中、実線Cは対向磁極間の発生磁場分布であり、破線A、Bは磁場発生部が単独である場合の磁場分布である。単独の場合には磁極の表面から離れるに従い発生磁場は急激に小さくなるのに対し、本例では磁極間中央近傍に極小部を持つ形状の強い磁場空間が得られるのがわかる。また、磁極間の距離を小さくすること

により磁場分布の形状を保ったまま磁場強度を強くすることができる。

【0073】本例の作用効果について説明する。本例の超電導磁石装置1は、2個の磁場発生部2、29が磁場空間を形成するように互いに近接して配設されている。よって、両方の磁極の磁場が重なり合うので一方の磁極から遠ざかったときの磁場の減衰が少なくなる。従って、磁極表面から離れた両磁極の間に磁場発生部が1個の場合よりも強力な磁場空間を実現することができる（実施形態例2参照）。

【0074】以上、本例によれば、強い磁場空間を形成可能な超電導磁石装置を提供することができる。

【0075】実施形態例2

本発明の超電導磁石装置に適用する超電導体の着磁方法について説明する。本例の着磁方法は、図4に示すように、2個の超電導体21を近接させた状態で、着磁コイル25により発生するパルス磁場を同時に印加する着磁方法である。

【0076】本例では、図1、図2にかかる超電導磁石装置1を用い、超電導体21により形成される磁場について説明する。冷凍機110で32Kに冷却された左右の磁場発生部2、29にある2個の超電導体21を、図4に示すように1個の着磁コイル25内に近接して配置し、パルス着磁を行った。この着磁により超電導体21に捕捉される磁場を評価した。また、比較のため、図1、図2において強磁性体23を外した着磁コイル25を用いて、1個の超電導体21をパルス着磁したときの捕捉磁場も評価した。

【0077】超電導体21は、15重量%の Ag_2O （酸化銀）と0.5重量%のPt（白金）を添加して溶融法で作製した Sm-Ba-Cu-O 系で、サイズは直径 $3.6\times$ 高さ 1.6mm の円柱形である。超電導体21の周囲には外形 4.3mm のステレンレスリングをはめ、その間隙をスタイキャストで充填した。左右の超電導体21間の距離は 8mm とした。着磁コイル25は68ターンで、液体窒素で冷却した。

【0078】パルス着磁は、まず印加磁場の強度が次第に大きくなるように繰り返してパルス磁場を印加し、捕捉磁場が減少し始めた後、今度は磁場強度を小さくしながらさらに繰り返して印加した。着磁終了後、2個の超電導体を引き離して、単独で着磁した場合との比較をした。この一連のパルス着磁過程における捕捉磁場の履歴を、左右それぞれの超電導体表面に配置してあるホール素子で測定した。

【0079】図6に、超電導磁石装置1の右側の超電導体における捕捉磁場の履歴を示す。図中の矢印は印加したパルス磁場の順番を表し、最終の縦軸との交点は2個の超電導体21を引き離した状態を表す。これより、2個の超電導体21を近接して着磁した場合には、着磁後、超電導体21を引き離すことにより捕捉磁場は僅か

に減少するが、単独で着磁した場合の約1.3倍の捕捉磁場が得られることがわかる。以上より、本発明にかかる超電導体の着磁方法によれば、超電導体の捕捉磁場が向上することが確認できた。

【0080】実施形態例3

本例では、図3に示すように、超電導体21の間に強磁性体23を配置した状態でパルス着磁を行った時の捕捉磁場を測定した。また、比較のため、図3のコイル配置で強磁性体23を取り外してパルス着磁を行った時の捕捉磁場も測定した。強磁性体23としてはパーメンジェールを用い、サイズは直径40mm×高さ37mmの円柱状である。

【0081】使用した超電導体21、着磁コイル25、パルス着磁の仕方等は、実施形態例2と同様で、図7に、右側の超電導体21における捕捉磁場の履歴を示す。最終の縦軸との交点は、強磁性体23を取り外して2個の超電導体21を分離した状態を表す。これより、2個の超電導体21間に強磁性体23を配置して着磁を行った場合には、強磁性体23を用いない場合よりも捕捉磁場は約1.3倍強くなることがわかる。また、本例での最終の捕捉磁場2.8Tは、実施形態例2の2個の超電導体21を近接させた場合の2.4Tより大きく、単純に超電導体21を近接させるより強磁性体23を間に配置した方が捕捉磁場を増加させる効果が大きいことがわかる。

【0082】実施形態例4

本例は、4個の磁場発生部2を有し、それぞれの磁極が1点に集中して向き合うように配置された超電導磁石装置である。それぞれの磁場発生部2には実施形態例1で示したような移動ステージが設けられており、向かい合う磁極間の距離を変えられるように構成されている。

【0083】図8に、隣り合う磁極が異なる極性となるように着磁し、4個の磁極で囲まれた空間が正方形となるように磁場発生部2の位置関係を調節したときの発生磁場分布を示す。これより、各磁極の極性に対応した4極の磁場パターンを持つ強磁場空間が形成されるのがわ

かる。また、4個の磁極間の位置関係を変えることにより、4極磁場パターンの形状や磁場強度を変化させることができる。

【0084】

【発明の効果】上述のごとく、本発明によれば、強い磁場空間を形成可能な超電導磁石装置及び超電導体の着磁方法を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

10 【図1】実施形態例1における、超電導磁石装置の構成を示す説明図。

【図2】実施形態例1における、磁場発生部の要部説明図。

【図3】実施形態例1における、強磁性体を介して二つの磁場発生部を接触させた状態を示す説明図。

【図4】実施形態例1における、二つの磁場発生部を接触させた状態を示す説明図。

【図5】実施形態例1における、磁束密度と左側の超電導体からの距離との関係を示す線図。

20 【図6】実施形態例2における、捕捉磁場と印加磁場との関係を示す線図。

【図7】実施形態例3における、捕捉磁場と印加磁場との関係を示す線図。

【図8】実施形態例4における、4つの磁場発生部とこれらにより形成される磁場空間の説明図。

【図9】(a)1つの超電導体が着磁された場合の説明図、(b)2つの超電導体が着磁された場合の説明図。

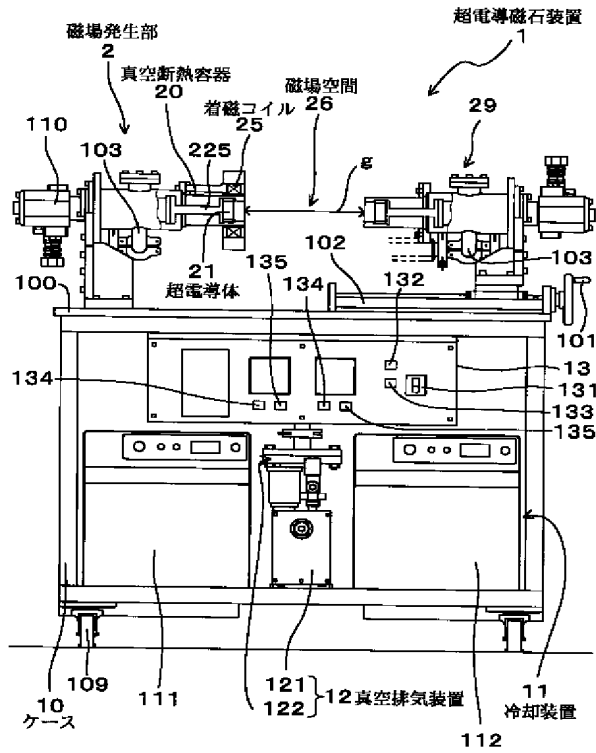
【符号の説明】

- 1... 超電導磁石装置、
- 10... ケース、
- 11... 冷却装置、
- 12... 真空排気装置、
- 2, 29... 磁場発生部、
- 20... 真空断熱容器、
- 21... 超電導体、
- 26... 磁場空間、

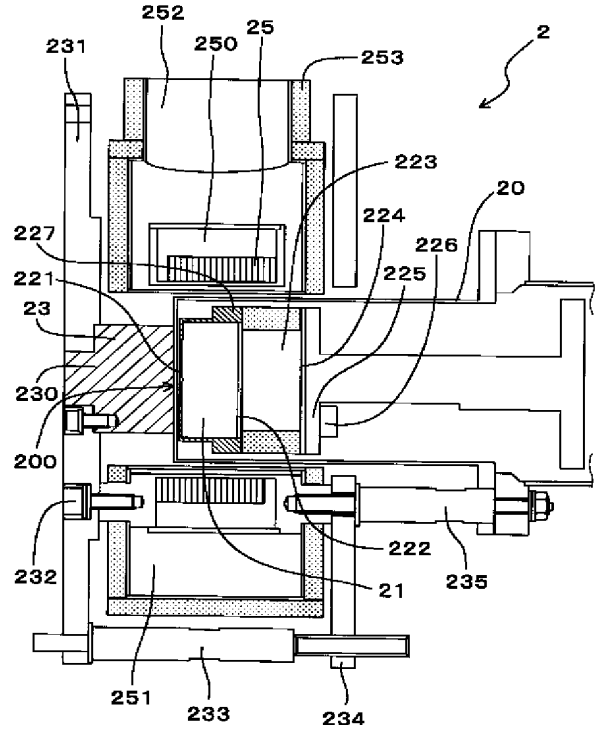
【図1】

【図2】

(図1)

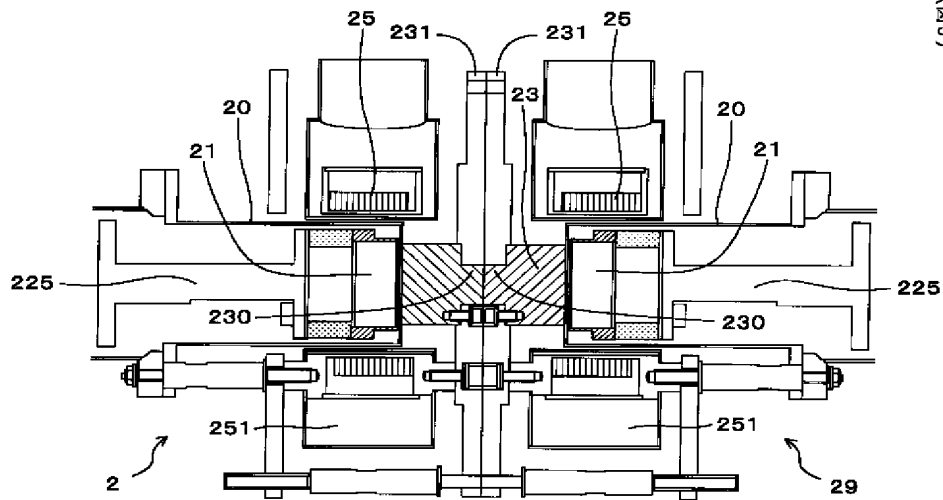


(図2)

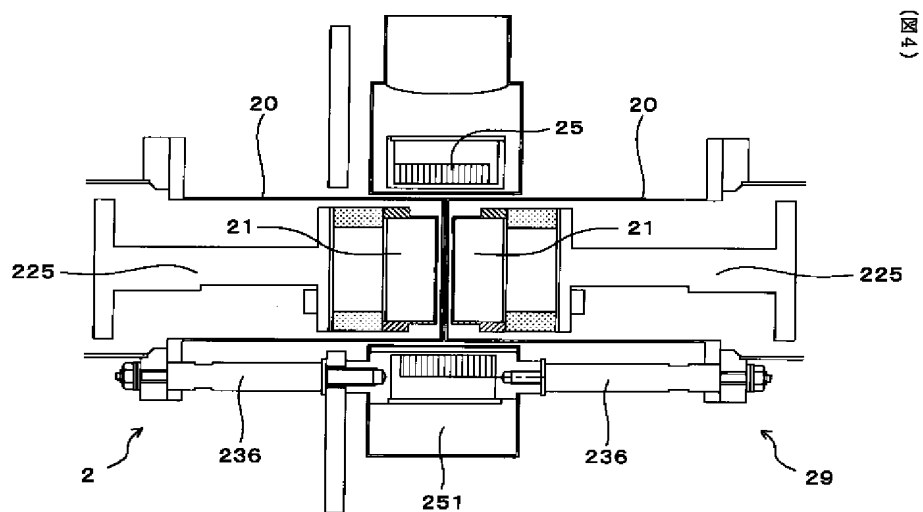


【図3】

(図3)



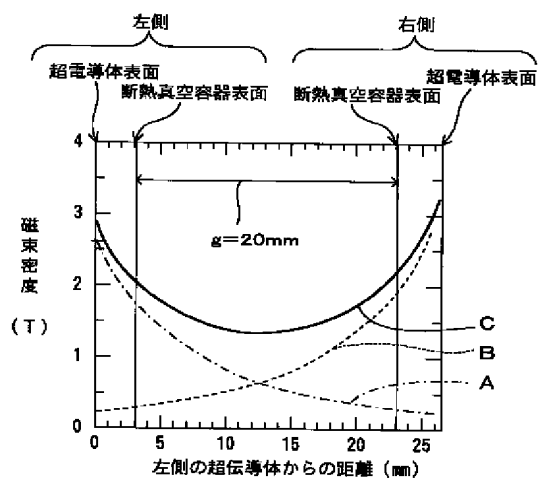
【図4】



(図4)

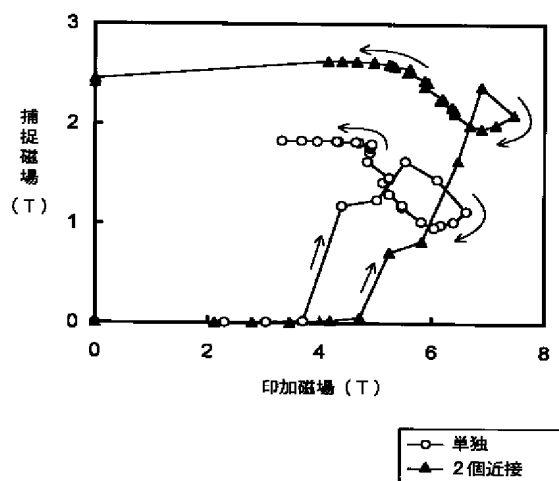
【図5】

(図5)



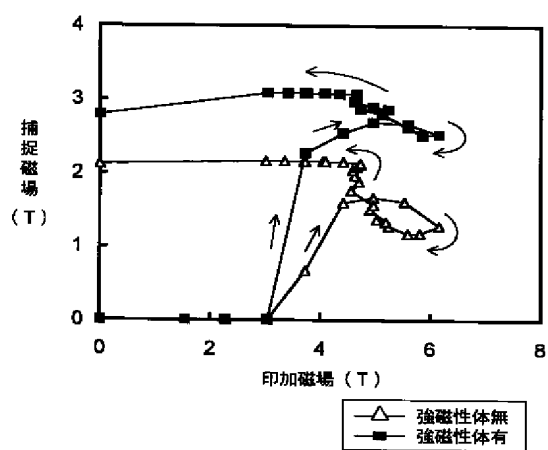
【図6】

(図6)



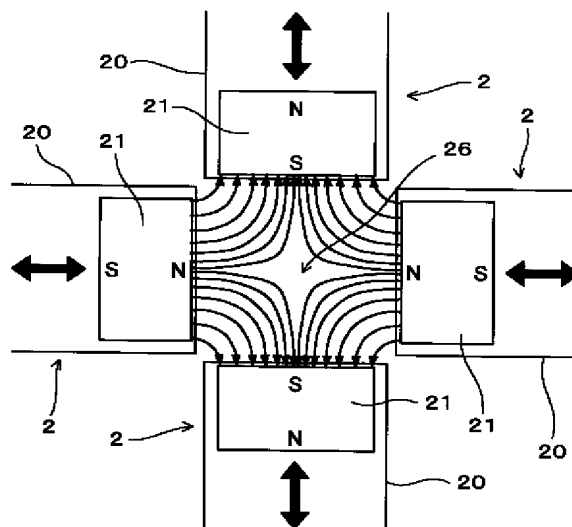
【図7】

(図7)



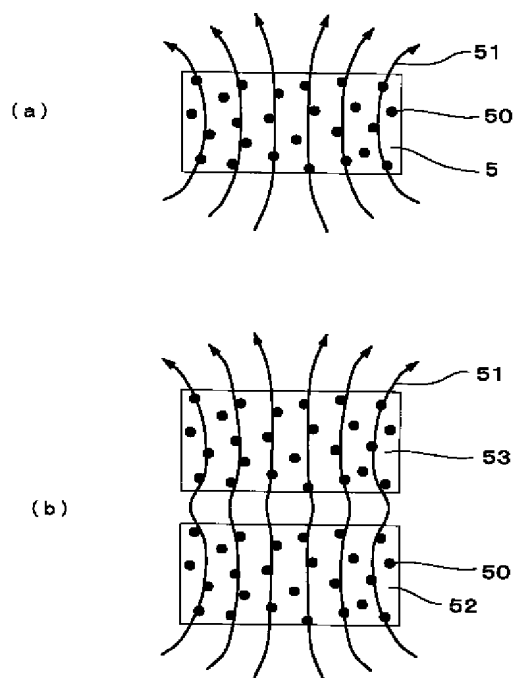
【図8】

(図8)



【図9】

(図9)



フロントページの続き

(72)発明者 柳 陽介
愛知県刈谷市八軒町5丁目50番地 株式会
社イムラ材料開発研究所内

(72)発明者 吉川 雅章
愛知県刈谷市八軒町5丁目50番地 株式会
社イムラ材料開発研究所内

PAT-NO: JP02001068338A
DOCUMENT-IDENTIFIER: JP 2001068338 A
TITLE: SUPERCONDUCTING MAGNET DEVICE
AND METHOD OF MAGNETIZING
SUPERCONDUCTORS
PUBN-DATE: March 16, 2001

INVENTOR-INFORMATION:

NAME	COUNTRY
ITO, YOSHITAKA	N/ A
OKA, TETSUO	N/ A
YANAGI, YOSUKE	N/ A
YOSHIKAWA, MASA AKI	N/ A

ASSIGNEE-INFORMATION:

NAME	COUNTRY
IMURA ZAIRYO KAIHATSU KENKYUSHO:KK	N/ A

APPL-NO: JP11243551
APPL-DATE: August 30, 1999

INT-CL (IPC): H01F013/00

ABSTRACT:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a superconducting magnet device capable of forming a space of intensive magnetic field and a method of magnetizing superconductors.

SOLUTION: The superconducting magnet device includes a plurality of magnetic field generating sections 2 and 29 comprising

superconductors 21 housed in vacuum heat insulating containers 20. The sections 2 and 29 are arranged adjacent to each other so as to form a space of magnetic field. The superconducting magnet device further includes magnetizing coils 25 for magnetizing the superconductors 21, a cooling unit 11 for cooling the superconductors 21, and an evacuating unit 12 for evacuating the containers 20.

COPYRIGHT: (C)2001,JPO